

全功能江海大桥主动防撞系统研究与设计

季本山¹, 李胜永¹, 季禹², 顾伟¹, 李真真¹

(1. 江苏航运职业技术学院 交通工程学院, 江苏 南通 226010;

2. 江苏航运职业技术学院 轮机工程学院, 江苏 南通 226010)

摘要:为避免人为失误因素导致船撞大桥事故的发生,在原有基于 AIS 主动防撞系统的基础上提出了全功能的江海大桥主动防撞系统设计方案。该系统增加了船用导航雷达,并设计了专用雷达视频处理单元,利用雷达对进入警戒区的船舶进行二次跟踪,通过 AIS 发出江海大桥主桥墩的数据信息,使过往船舶的雷达和 AIS 上显示主桥墩的位置,明确主通航孔的位置。DSP 数据处理单元通过 AIS 和雷达获取船舶的数据信息,分析、判断船舶的态势后由 VHF DSC 选择呼叫过往船舶并发出语音提醒,用寻址二进制方式向 AIS 发出安全信息警告,使船舶驾驶人员及早加强警戒,采取必要避碰措施安全通过大桥。实践验证了系统的正确性与可行性,达到了预期的设计目的。

关键词:全功能主动防撞系统;语音与信息提示区;雷达跟踪区;主通航孔

中图分类号:U443.8

文献标志码:A

文章编号:1671-9891(2020)2-0029-07

0 引言

随着我国社会经济的快速发展和建设“交通强国”进程的加快,在国家《中长期铁路规划》中提出了要建设“八纵八横”高速铁路网,即以沿海、京沪等“八纵”和陆桥、沿江等“八横”通道为主干,城际铁路为补充的高速铁路网。这些都为大桥、隧道等交通基础工程建设提出了新要求。由于江海大桥的数量增加为船舶航行安全增加了难度,减少或杜绝船撞桥事故的发生是业内关注的问题。根据国内外船撞桥事故的统计与分析,船撞桥事故发生的原因可归类为人为因素、船舶设备故障、环境因素 3 大类^[1],而这三种原因在船撞桥事故中所占比例大约为 25:4:1,可见人为因素是导致船撞桥的主要原因。

目前江海大桥在建造过程中都采取了较为完备的被动防撞措施,而主动防撞系统是避免人为因素造成船撞桥事故发生的最有效措施。笔者将基于 AIS 的主动防撞系统^[2-3]应用于苏通大桥并取得良好的效果,为了使系统的功能更为完善,系统中增加了导航雷达,形成了全功能主动防撞系统设计方案。

1 全功能江海大桥主动防撞系统

雷达和船舶自动识别系统 AIS(Automatic Identification System)是一种重要的导航设备,雷达在航海上的运用已有较长的历史,计算机技术在雷达中的应用使船用导航雷达的智能化、自动化水平大幅度提高,从而构成了雷达的 TT 功能(Target Tracking)。雷达是一种主动探测与跟踪目标的导航仪器,在测量目标的距离与方位以及对目标运动态势的分析与判别等方面具有很强的优势。AIS 作为一种航海导航仪器的后起之秀,其具有获得的目标数据精度较高、无盲区等优点,但 AIS 是一种被动式的传感器,只能接收到安装有 AIS 系统的船舶信息。在大桥主动防撞系统中仅使用 AIS 作为唯一传感器,对于未安装 AIS 或 AIS 出现故障或关闭 AIS 的船舶来说,系统对这类船舶缺少监视与跟踪,存在安全隐患。为了充分利用雷达与 AIS 各自的优点,确保过往船舶都处于监控范围之内,完善主动防撞系统的智能与自动化性能,本文在原有主动防撞系统基础上增加了导航雷达,设计了全功能的主动防撞系统方案。

1.1 防撞系统全功能的体现

(1)过往船舶的 AIS 和雷达上显示并标注大桥桥墩名称;

收稿日期:2020-03-21

基金项目:江苏省公路水运工程科技成果推广项目(201822)

作者简介:季本山(1961—),男,江苏如东人,江苏航运职业技术学院交通工程学院教授。

(2)向进入大桥警戒提示区的船舶发出甚高频 VHF(Very High Frequency)电话语音警示,同时发出 AIS 短信警告信息,引起船舶驾驶人员的警觉,谨慎驾驶通过大桥;

(3)雷达对进入大桥警戒区的船舶进行自动跟踪,实时计算出过往船舶相对桥墩的态势,对于存在碰撞危险的船舶标注闪烁的危险光标同时产生音响报警,引起值班人员警觉,及时实施人员干预措施,防止船撞桥;

(4)数据处理单元从雷达跟踪的目标数据中提取存在碰撞危险船舶的相对距离和方位,再与 AIS 所提供的数据进行比对,找出该船的海上移动识别码 MMSI(Maritime Mobile Service Identify),通过甚高频数字选择性呼叫终端 VHF-DSC(Digital Selective Calling Terminals,“数字选择性呼叫终端”)进行选择性呼叫,通过指定频道用语音向该船发出语音报警;

(5)通过数据接口与交管中心 VTS(Vessel Traffic System)联网,由 VTS 值班人员用无线电话等途径,对船舶加强监控,排除撞桥危险。

1.2 全功能防撞系统的组成

全功能江海大桥主动防撞系统由四个部分组成,如图 1 所示。

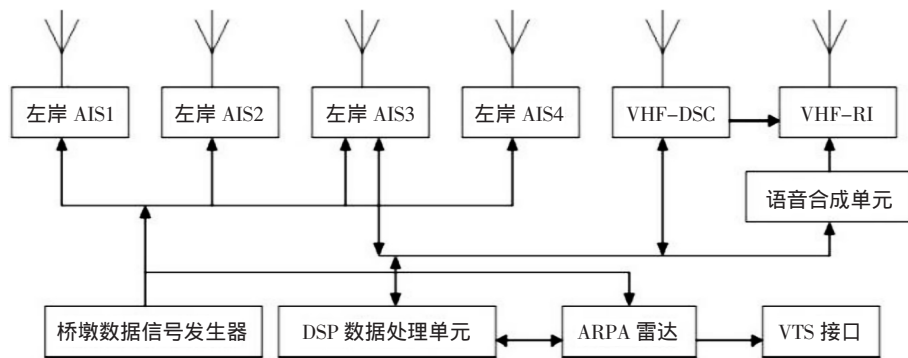


图 1 全功能江海大桥主动防撞系统组成框图

(1)桥墩数据信息发送单元,由多台 AIS 和一台桥墩数据信号发生器组成。其功能是把主桥墩的精确地理位置数据、模拟航向、模拟航速通过一组 A 类的 AIS 发出去,使过往船舶上 AIS 的海图上和雷达图像能清晰地显示桥墩位置。模拟微小航速的加入是为了提高船载 AIS 的数据更新率,从而达到提高数据采集精度的目的^[4],而加入与主航道方向相一致的模拟航向使雷达显示器上桥墩图像始终是一个定向的矢量显示。

(2)数据处理单元,由数字信号处理器 DSP(Digital Signal Processor)系统组成。DSP 解析 AIS 输出指令提取过往船舶的位置信息,经过运算判别船舶是进入还是驶离警戒提示区,对于驶入警戒提示区的船舶发出语音警告;DSP 解析雷达输出跟踪目标数据提取存在撞桥危险船舶的相对距离和方位,与 AIS 的数据进行比对处理,获取海上移动识别码(MMSI),并采用选择单呼的方式构建 VHF DSC 呼叫序列,控制 VHF DSC 和 RT-RT 发送无线电电话信。

(3)VHF DSC 及语音提示单元,主要由 VHF DSC 和 VHF RT 和语音合成单元组成。

(4)雷达单元,雷达的工作原理决定了雷达图像以本船为中心 PPI(Plane Position Indicator)的极坐标显示形式,本系统中所使用的雷达是通过专用数据处理单元,将雷达图像从以本船为中心转换成以主桥墩为中心,这样既能充分发挥雷达对目标信号运动态势分析与计算的强大功能,同时又便于管理人员观察。

2 全功能江海大桥主动防撞系统的实现

2.1 警戒区的设定

为了减少系统数据运算量,提高系统效率,警戒区分为两类:语音与短信提示区和雷达跟踪区。在距大桥的上下游各 1 km 处设定为语音信息提示区,船舶进入该区域后防撞系统通过 VHF 电话向船舶发出语音提示,用 AIS 向船舶发出警告信息,及时提醒船舶驾驶人员船已进入大桥警戒区,采用合理的操纵措施安全通过大桥。以大桥为中心向上下游各 700 m 之间的区域设定为雷达跟踪区,当船舶进入该区域后系统对其进行自动跟踪,计算出最近会遇点 CPA(Closest Point Approach)、最近会遇点时间 TCPA(Time to Closest Point Approach),判别是否存在撞桥危险,对存在危险的船舶系统自动通过 VHF-DSC 呼叫该船舶,干预其操船行

为,直至安全通过大桥。

2.2 进入警戒提示区的甄别

对于船舶进入警戒(语音与短信)提示区甄别方法,可采用多种。为了减少计算量,这里仅以警戒提示区四个角点的地理坐标为基准,从 AIS 的数据输出接口中提取“! AIVDM”语句,从中解析出每艘船舶的地理坐标信息,与四个角点的坐标进行比较,从而判断出该船舶是否进入了警戒提示区。其算法程序流程图如图 2 所示。雷达跟踪区由雷达来设置。

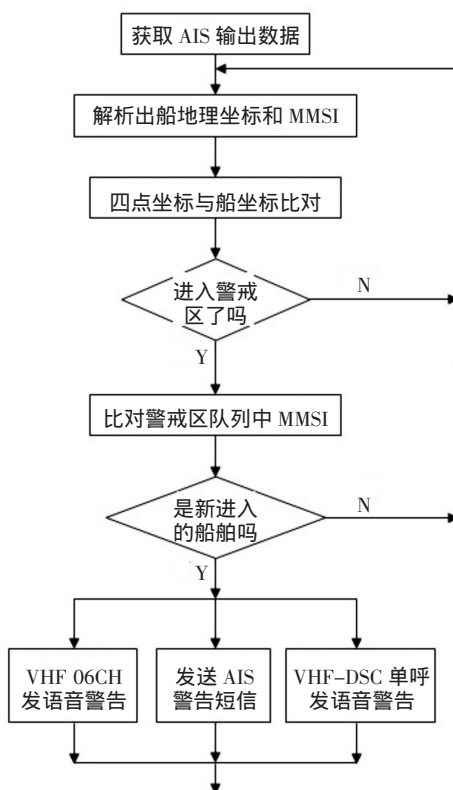


图 2 警戒提示区甄别流程

2.3 语音与短信警告的发送

对于进入警戒提示区的船舶,系统通过 VHF 电话和 AIS 两途径发出警告。数据处理单元发现有船舶进入警戒提示区后用两种方式发出语音提示警告:一种是数据处理单元提取船舶海上识别码(MMIS)后采用单呼的方式,后续工作频道选用 VHF12CH,这种方式不会影响到其他的船舶通信,但需要配备有 VHF DSC 船舶的驾驶人员确认后才能完成通信过程,收听到语音提示;另一种是直接 VHF 06CH 上自动播放警告语音,这种方式无需船方作任何操作,同时没有配备 VHF DSC 的船舶,仅用 VHF 电话就能接收,但使用这种方式后附近的船舶均能收听到,对 VHF 06CH 频道的通信有影响,为了减少影响范围,系统中使用的 VHF 电话将发射功率控制在 1 W 以内。本系统可根据过往大桥的船舶吨位情况而选择,或两种方式均采用。

AIS 警告短信由数据处理单元从系统的 AIS3 输出数据中,提取进入警戒提示区的船舶识别码,采用寻址二进制和安全信息相关的封装 ABM 语句,发出警告信息。ABM 是支持 ITU-RM.1371 电文 6 及 12 两种类型电文^[5],本系统采用 12 号电文。12 号电文为寻址安全文本报文,报文采用 6bit ASC 字符,报文中各 bit 位定义的格式如表 1 所示。系统数据处理单元提取进入警戒区船舶的海上识别码后,根据 ABM 语句的编辑规则,构建 6bit ASC 字符数据报文,通过 RS485 接口发送给 AIS3,启动寻址二进制信息发送程序。这样船舶进入大桥警戒区域后,AIS 就会收到安全警告信息,提醒船舶驾驶人员加强注意。

表 1 寻址安全相关消息 12 号电文格式

参 数	比特数	说 明
报文号	6	始终为 12(12 号报文)
转发数字符	2	首次发送为默认值 0 ,每转发一次加 1 ,值为 3 不能再转发
信息源 MMSI	30	首次发送该报文的台站的 MMSI 号
序列编号	2	0~3
目的地 MMSI	30	目的地台站的 MMSI 号
重发标志	1	报文重发标志 0=无重发 ,1=已重发
备用	1	默认为 0

2.4 主动防撞系统雷达图像视频处理

船舶导航雷达能准确测定目标的方位和距离 ,直观地显示本船周围的目标回波 ,实现了船舶定位、导航与避碰的功能。船用导航雷达显示方式尽管有偏心显示、航向向上、北向向上等多种形式 ,但 PPI 显示图像的中心位置都是代表安装雷达的本船^[6-8]。在防撞系统中不可能把雷达安装在主桥墩上 ,只能安装在大桥附近的某个陆地位置 ,这样雷达 PPI 图像的中心与大桥主桥墩没有任何关联 ,这不仅影响我们观测雷达图像 ,而且对于雷达刻度信息系统固定距标圈 FRM(Fixed Range Marker)、活动距标圈 VRM(Variable Range Marker)、电子方位线 EBL(Electronic Bearing Line)、平行指示线 PI(Parallel Index Line)以及雷达系统计算 CPA 和 TCPA 的功能也难以实现 ,同时也对设定以主桥墩为中心的警戒跟踪区带来不便。因此 ,主动防撞系统中为雷达设计另一种雷达图像视频处理单元 ,其根本任务就是将图像中心由陆上安装雷达点 ,通过一定算法移到大桥主桥墩上。

如图 3 所示为直角坐标 XOY 、两个极坐标 O_1X_1 和 O_2X_2 转换示意图。在图中 O 点是陆上安装雷达的地点 , O_2 是大桥主桥墩的位置 , A 是目标在雷达显示器上的回波图像。设(1)极坐标 O_1X_1 极点与直角坐标的原点 O 重合 ,极轴与直角坐标 X 轴重合 ;(2)极坐标 O_2X_2 的极轴与直角坐标 X 平行且同向 ;(3)三个坐标的单位长度相同。 A 目标在雷达上距离为 d_1 、方位 θ_1 ,即 A 在 O_1X_1 中极坐标为 (d_1, θ_1) ; A 在 O_2X_2 中极坐标为 (d_2, θ_2) , O_2 在 O_1X_1 中的坐标为 (L, β) 即在直角坐标中为 $(L\cos\beta, L\sin\beta)$ 。则有 :

$$\begin{cases} x = d_1 \cos\theta_1 \\ y = d_1 \sin\theta_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x = d_2 \cos\theta_2 \\ y = d_2 \sin\theta_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} d_2^2 = (L\cos\beta - d_1 \cos\theta_1)^2 + (L\sin\beta - d_1 \sin\theta_1)^2 \\ \tan\theta_2 = \frac{L\sin\beta - d_1 \sin\theta_1}{L\cos\beta - d_1 \cos\theta_1} \end{cases} \quad (3)$$

主动防撞系统所使用的雷达图像视频处理专用单元就是用公式(3)的算法 ,对原雷达 PPI 显示的 O_1X_1 极坐标下所有图像转换为 O_2X_2 极坐标下 ,使雷达图像以系统选定一个主桥墩为扫描起始点进行 PPI 显示 ,将所有物标图像包括雷达的刻度信息系统按公式(3)的算法转换至大桥主桥墩为中心的极坐标中。

在实际安装雷达时将雷达的船艏线调整至与大桥区域内主航道的方向平行 ,即图 3 中的直角坐标 X 轴的正方向。这样可以避免图像处理单元算法的复杂化。

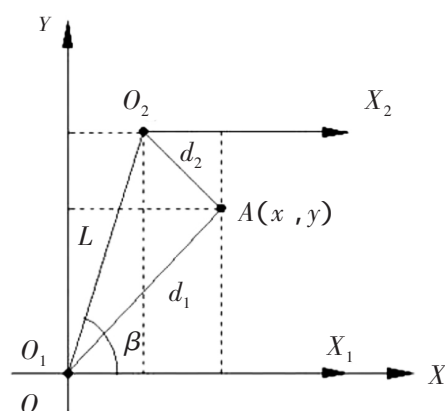


图3 雷达极坐标转换图

2.5 VHF DSC 自动呼叫技术

雷达与 AIS 信息的融合构成了崭新的船舶航行与安全信息系统,充分发挥了这两种设备各自的优势,实现了雷达图像的自动识别,提高了航迹的精度与可靠性。雷达与 AIS 信息的融合的前提是两者信息的时间、空间的统一,关键是航迹关联的判定,目的是形成最终的航迹^[9]。

原雷达图像经过防撞系统雷达图像专用处理单元处理后是以主桥墩为中心 PPI 显示的,以主桥墩为中心设置警戒跟踪区,即在雷达中设置警戒圈(线)即可,当过往船舶闯入警戒圈后立即被雷达自动录取并自动跟踪,实时地计算该船舶与主桥墩的 CPA 和 TCPA,一旦发现存在船舶碰撞桥墩危险时,在雷达图像上对该船舶的回波会出现闪烁,由于 AIS 与雷达图像已进行了融合处理,在船舶雷达回波旁已指示了该船舶的相关信息,防撞系统数据处理单元从雷达和 AIS 获取目标船数据中提取船舶的 MMIS 码,并产生 VHF DSC 选择呼叫指令序列:格式符选择 SELECTIVE 单台呼叫、呼叫类别选择 SAFETY 安全通信优先级、被叫船的 MMSI、后续通信频道选择 12CH。VHF DSC 自动呼叫程序流程如图 4 所示。向 VHF DSC 单元发出呼叫指令,通知该船舶存在撞桥危险,命令船长采取紧急有效避碰措施,同时通知海事局 VTS 值班人员,通过非自动途径呼叫船舶,落实避碰措施。

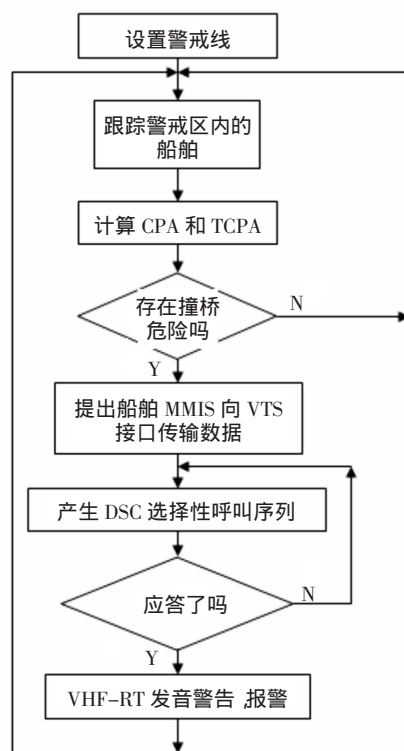


图4 VHF DSC 自动呼叫程序流程

2.6 交管中心(VTS)数据接口

主动防撞系统作为大桥的重要运行安全设施,也是水上安全运输系统中的一部分。系统专门设置了光纤传输接口模块,采用单模光纤将防撞系统信息传送至海事部门的 VTS 系统,在 VTS 形成雷达复示器的功能。

3 全功能主动防撞系统功能的验证

全功能主动防撞系统设计安装调试后,经过实地测试,各项技术指标和功能均达到设计要求。苏通大桥北桥墩的 AIS 海图显示的图像如图 5 所示,在图中原大桥的主桥墩均无任何标记,现在都标上了按国际海事组织规定的 MMIS(984120002)并申明为大桥主桥墩。



图 5 AIS 海图上显示的两个桥墩的位置

在系统雷达上,将图像切转到南主桥墩时的图像如图 6 所示,图中警戒圈以南主桥墩为中心,闯入警戒圈内的船舶均被雷达自动录取并跟踪,在相应数据窗口显示船舶动态数据。

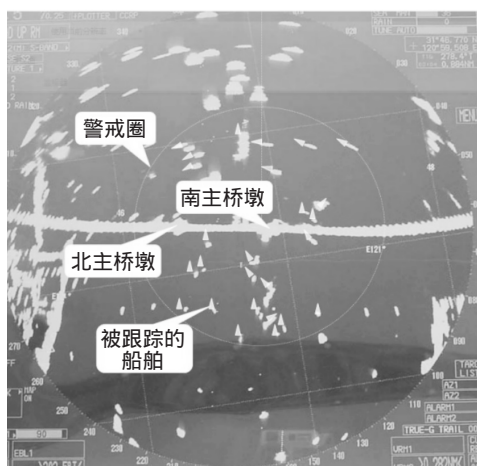


图 6 以南主桥墩为中心的雷达图像

当船舶进入大桥警戒提示区后,系统监测后发出寻址二进制数警告信息,图 7 是某船进入大桥警戒提示

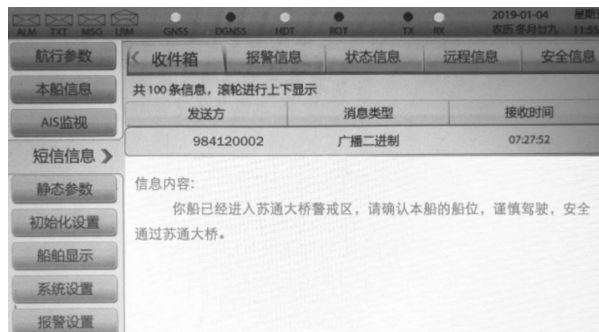


图 7 某船进入大桥警戒区后所接收到信息

区后所接收到的系统提示 AIS 短信。

4 结束语

全功能大桥主动防撞系统充分利用了用户终端即船上现有的导航雷达、AIS、VHF DSC 等通信导航设备,实现了设备间的优势互补,整体协调联动,通过图像、语音、短信消息等多种信息传递手段,提示船舶驾驶人员,克服了人为因素造成船撞桥的风险。在岸基系统中雷达的运用加强了系统监控力度,提高了系统的智能化自动化程度,使原有基于 AIS 主动防撞系统的功能得到充分完善与提升。

参考文献:

- [1]陈伟炯,卢忆宁,张善杰.跨海大桥船舶碰撞模糊 Bow-tie 风险评估方法[J].中国安全科学学报,2018(1):87-92.
- [2]季本山,谷溪,方泉根.苏通大桥主动防撞系统研究[J].中国航海,2010(4):34-38.
- [3]谷溪,季本山.基于 AIS 技术在大桥主动防撞系统中的应用研究[J].航海技术,2012(1):36-39.
- [4]鲍君忠,周尊山,徐东华.船载自动识别系统应用[M].大连:大连海事大学出版社,2006:9-13.
- [5]袁安存,张淑芳.通用船舶自动识别系统国际标准汇编[M].大连:大连海事大学出版社,2005:2-4.
- [6]张晓曦,吴翼虎,刘永强.雷达信号处理机并行自动测试系统设计[J].计算机测量与控制,2016(1):126-136.
- [7]潘恒康,刘嘉宁,沈洁赵.船用导航雷达视频显示设计[J].计算机应用,2017(S2):137-140.
- [8]肖圣兵.雷达测试系统中数据采集接口模块设计[J].电子技术设计与应用,2016(1):77-80.
- [9]谷溪,季本山.一种自动呼叫甚高频数字选呼系统的设计[J].中国航海,2013(3):14-18.

(责任编辑 张 利)

Research and Design of Full-function Active Anti-collision System of Bridges over Rivers or Seas

Ji Ben-shan¹, Li Sheng-yong¹, Ji Yu², Gu Wei¹, Li Zhen-zhen¹

(1. School of Transport Engineering, Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China;

2. Marine Engineering College, Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: In order to avoid the accident of ship collision with the bridge caused by human error, a full-function active collision avoidance system design scheme for bridges over rivers or seas is proposed on the basis of original AIS active collision avoidance system. The system adds a marine navigational radar, and designs a dedicated radar video processing unit. The radar is used to track ships entering the warning area twice, and the data information of the main pier of the bridge is sent through AIS, so that the location of the main bridge pier can be displayed by passing ships' radar and AIS, as a result of which the main navigation hole can be ascertained. The DSP data processing unit obtains ship's data information through AIS and radar, analyzes and judges the situation of the ship, and then VHF DSC selects to call the passing ships and sends out voice reminders, and sends safety information warnings to AIS by addressing binary mode, so that ship's officers can early strengthen vigilance and take necessary measures to avoid collisions to pass the bridge safely. The correctness and feasibility of the system have been verified by practice, and the expected design goals have been achieved.

Key words: full-function active collision avoidance system; voice and information prompt area; radar tracking area; main navigation hole